

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Line Balancing*

Keseimbangan lini produksi atau *line balancing* adalah proses mendistribusikan pekerjaan di sepanjang lini produksi sehingga setiap stasiun kerja memiliki beban yang seimbang. Tujuannya adalah untuk menghindari penundaan, atau *bottleneck*, dan penggunaan kapasitas yang berlebihan di tempat lain, yang dapat mengganggu proses produksi secara keseluruhan. Penentuan *bottleneck* diambil dari waktu siklus paling besar diantara stasiun kerja (Siregar, 2020). Hal ini dapat dilakukan dengan cara melakukan pengukuran waktu kerja langsung di tempat produksi. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengukuran waktu kerja langsung dapat dilakukan dengan *stopwatch time study* atau *work sampling* (Hapid et al., 2021).

Kelebihan kapasitas pada lini produksi yang menyebabkan mesin dan tenaga kerja menganggur disebut *idle time*. *Idle time* terjadi ketika ada ketidak seimbangan penugasan di setiap stasiun kerja, sehingga beberapa stasiun menunggu pekerjaan dari stasiun lain yang lambat, untuk menghindari *idle time* dalam mencapai keseimbangan lini, diperlukan distribusi waktu yang merata di setiap stasiun (Widyarto et al., 2020). *Line Balancing* adalah salah satu metode untuk menghitung produktivitas dan waktu tunggu. Proses membagi pekerjaan yang dibutuhkan dalam suatu lini produksi ke dalam beberapa stasiun kerja yang berbeda sehingga waktu dan beban dapat diimbangi di antara mereka sehingga proses produksi menjadi halus dan lancar.

Penelitian mengenai *Line balancing* sudah dilakukan oleh penelitian-penelitian terdahulu. Masalah lini produksi deterministik di pabrik pelat nomor kendaraan Nigeria yang diteliti oleh Stephen C. Nwanya (Sistem et al., 2020) memiliki masalah pada waktu tunggu yang lama untuk pesanan. Penundaan yang disebabkan oleh proses kerja yang tidak menghasilkan nilai tambah di antara kontributor lain yang menyebabkan antrean panjang di pabrik ini, dengan

menggunakan model waktu siklus yang efektif. hasilnya kasus indeks garis seimbang menunjukkan peningkatan laju proses sebesar 41%, 59%, 42%, dan 71% untuk garis A, B, C, dan D, serta peningkatan efisiensi jalur secara keseluruhan. Oleh karena itu, keseimbangan lintasan pada lini produksi adalah ketika suatu lintasan menerima beban kerja yang sama pada setiap stasiun kerja dan mengeluarkan *out put* yang sama dalam satuan waktu.

2.1.1 Istilah-Istilah dalam *Line Balancing*

Dalam konteks keseimbangan lintasan, istilah-istilah berikut sering disebutkan:

1. Stasiun kerja, atau work station, adalah lokasi di lintasan produksi di mana aktivitas kerja dilakukan, baik oleh manusia, mesin, maupun kombinasi keduanya.
2. Waktu proses stasiun kerja adalah jumlah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses dalam satu satuan waktu, atau untuk menyelesaikan seluruh elemen kerja di stasiun kerja.

Berikut adalah perhitungan Cycle Time (CT):

$$CT = \frac{\text{Waktu Produksi per jam}}{\text{Output per jam}} \dots\dots\dots \text{Rumus 2.1 Cycle Time}$$

Produksi

3. Waktu tunggu, juga dikenal sebagai keterlambatan, adalah perbedaan waktu antara stasiun dan siklus yang menyebabkan waktu mennganggur di salah satu stasiun.

2.1.2 Metode Helgesson dan Birnie (*RWP/Rangket positional weight*)

Konsep metode ini bertujuan untuk menentukan jumlah stasiun kerja minimum dan pembagian beban kerja dengan memberikan bobot pada setiap operasi. Langkah-langkah metode *RPW* meliputi:

1. Membuat *precedence diagram* dari *OPC*
2. Menghitung waktu siklus
3. Menyusun matriks lintasan berdasarkan *precedence diagram*

4. Menghitung bobot posisi tiap operasi berdasarkan waktu dan ketergantungan operasi
5. Mengurutkan bobot operasi dari yang terbesar ke terkecil
6. Menentukan jumlah stasiun kerja minimum
7. Menyusun flow diagram
8. Melakukan trial untuk meningkatkan efisiensi
9. Menghitung balance delay lintasan

2.1.3 Pengukuran Waktu Dengan Metode Jam Henti

Menurut Frederick W. Taylor (2020), Pengukuran menggunakan metode jam henti dapat digunakan untuk mengukur pekerjaan secara terus-menerus dan singkat. Hasil dari pengukuran ini akan menjadi standar, yang juga disebut sebagai waktu baku. Waktu baku menunjukkan berapa lama siklus pekerjaan harus dilakukan. Proses penghitungan waktu menggunakan metode jam henti ini adalah sebagai berikut:

1. Beritahu pekerja tentang tugas yang akan diukur dan tujuan dan maksudnya.
2. Siapkan alat seperti *stopwatch*, lembar pengamatan, dan alat tulis.
3. Catat semua informasi yang berkaitan dengan pekerjaan yang akan diukur.
4. Catat jumlah waktu yang dibutuhkan pekerja untuk menyelesaikan tugas.
5. Tentukan berapa banyak siklus kerja yang dihitung.
6. Sesuaikan waktu pengukuran dengan kinerja pekerja untuk menghasilkan waktu normal.
7. Tetapkan tenggat waktu untuk pekerjaan tersebut.
8. Tetapkan waktu baku, yang merupakan jumlah waktu normal ditambah waktu longgar.

2.1.4 Penentuan Ukuran Sampel Menggunakan Rumus *Bernoulli* dan *Slovin*

Nadhilah Idzni Majdina dkk (Matematika & Matematika, 2024), meneliti penggunaan rumus *Bernoulli* dan *Slovin* untuk menentukan ukuran sampel pada

populasi terbatas dan tidak terbatas. Penelitian ini menggunakan metode simple random sampling dengan tingkat kepercayaan antara 87% hingga 99%, termasuk 90%. Pada tingkat kepercayaan 90% dan tingkat ketelitian 10%, asumsi proporsi sampel berada dalam interval 0,24 hingga 0,76. Simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa ukuran sampel berkurang seiring penurunan tingkat kepercayaan, menjadikan tingkat kepercayaan 90% pilihan yang efektif untuk efisiensi pengambilan sampel. Hasil penelitian merekomendasikan penggunaan rumus *Slovin* untuk populasi terbatas dan rumus *Bernoulli* untuk populasi tak terbatas, dengan kebebasan menentukan tingkat kesalahan sesuai kebutuhan penelitian.

1. Rumus Slovin untuk populasi terbatas:

$$n = \frac{N}{1+N \times e^2} \dots\dots\dots \textbf{Rumus 2.2 Rumus Slovin}$$

Keterangan:

- n = ukuran sampel
- N = jumlah populasi
- e = tingkat ketelitian atau margin of error (dalam desimal)

2. Rumus Bernoulli untuk populasi tak terbatas:

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q}{e^2} \dots\dots\dots \textbf{Rumus 2.3 Rumus Bernoulli}$$

Keterangan:

n = ukuran sampel

Z = skor Z berdasarkan tingkat kepercayaan (misalnya, 1,645 untuk 90%)

P = proporsi keberhasilan (atau proporsi populasi yang memiliki karakteristik tertentu)

q = 1 - p (proporsi kegagalan)

e = tingkat ketelitian atau *margin of error* (dalam desimal)

2.1.5 Rating Performance Kerja

Rating performance kerja digunakan untuk menilai tingkat kecepatan dan keterampilan pekerja dalam menyelesaikan tugas dibandingkan dengan standar

yang ditetapkan, bertujuan untuk menentukan efisiensi dan produktivitas tenaga kerja dalam proses produksi.

Berikut adalah nilai *performance rating* pada tabel 2.1:

Tabel 2.1 *Rating performance*

<i>Skill</i>		<i>Effort</i>	
+ 0,15 A1	<i>Super Skill</i>	+ 0,13 A1	<i>Superskill</i>
+ 0,13 A2		+ 0,12 A2	
+ 0,11 B1	<i>Excellent</i>	+ 0,10 B1	<i>Excellent</i>
+ 0,08 B2		+ 0,08 B2	
+ 0,06 C1	<i>Good</i>	+ 0,05 C1	<i>Good</i>
+ 0,03 C2		+ 0,02 C2	
0,00 D	<i>Average</i>	0,00 D	<i>Average</i>
- 0,05 E1	<i>Fair</i>	- 0,04 E1	<i>Fair</i>
- 0,10 E2		- 0,08 E2	
- 0,16 F1	<i>Poor</i>	-0,12 F1	<i>Poor</i>
- 0,22 F2		-0,17 F2	<i>Poor</i>
<i>Condition</i>		<i>Consistency</i>	
+ 0,06 A	<i>Ideal</i>	+ 0,04 A	<i>Ideal</i>
+ 0,04 B	<i>Excellent</i>	+ 0,03 B	<i>Excellent</i>
+ 0,02 C	<i>Good</i>	+ 0,01 C	<i>Good</i>
0,00 D	<i>Average</i>	0,00 D	<i>Average</i>
- 0,03 E	<i>Fair</i>	- 0,02 E	<i>Fair</i>
- 0,07 F	<i>Poor</i>	- 0,04 F	<i>Poor</i>

(Tambunan Halomoan & Zetli, 2020)

Klasifikasi *Performance Rating*:

Klasifikasi keterampilan dibagi sebagai berikut:

1. *Super Skill*: Pekerja sangat terlatih, gerakan halus dan cepat, hampir seperti mesin, dengan sedikit perencanaan atau gerakan berpikir. Tipe ini dianggap sangat baik.
2. *Excellent Skill*: Pekerja percaya diri, terlatih dengan baik, gerakan tepat, efisien, cepat, dan tetap menjaga kualitas.
3. *Good Skill*: Hasil kerja memenuhi standar, lebih baik dari rekan kerja, bisa dijadikan contoh, terampil, stabil, dan gerakan terkoordinasi.
4. *Average Skill*: Pekerja terlatih cukup, ada perencanaan, gerakan yakin, dan bekerja teliti meski belum sempurna.
5. *Fair Skill*: Pekerja terlatih dasar, mengenal lingkungan dan peralatan, tapi kurang percaya diri.
6. *Poor Skill*: Pekerja kesulitan mengkoordinasikan tangan dan pikiran, gerakan kaku, sering ragu, dan sering membuat kesalahan.

Rumus Faktor Penyesuaian:

TF = F. keterampilan (skill) + F.Usaha + F.Kondisi + F.Konsistensi

.....**Rumus 2.4** Faktor penyesuaian

Keterangan:

TF = Total nilai faktor

F = Faktor menurut tabel *Westinghouse*

2.1.6 Waktu Siklus Rata-rata (*Cycle Time*)

Waktu Siklus adalah durasi rata-rata yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu unit pekerjaan dalam proses produksi atau operasional. Menghitung waktu Siklus penting untuk menilai efisiensi proses dan menetapkan standar waktu kerja (Wahyuningrum et al., 2021). Setelah semua langkah pengukuran pengerjaan dilakukan dan data dicatat, langkah selanjutnya adalah menghitung waktu Siklus dengan menggunakan rumus berikut:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} \dots\dots\dots \textbf{Rumus 2.5 Menghitung waktu}$$

Siklus rata-rata

Dimana:

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata pengamatan

$\sum x_i$ = Jumlah data pengamatan

N = Jumlah pengamatan yang dilakukan

2.1.7 Precedence Diagram

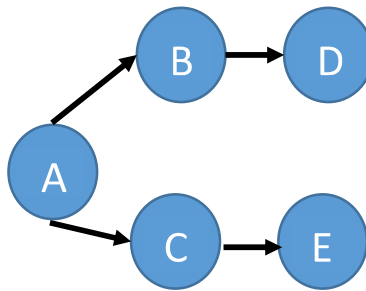
Precedence diagram adalah gambaran urutan proses operasi yang hanya mencakup waktu dan panah *horizontal* yang menunjukkan urutan kerja, tanpa melibatkan tanda inspeksi. Aktivitas dalam *precedence diagram* dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu aktivitas maju, mundur, dan pengumpanan kembali.

Rakitan dapat dibedakan menjadi dua tipe:

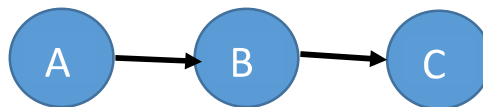
1. Pertama, tipe yang tidak bergantung pada komponen lain dalam proses perakitan
2. Kedua, tipe yang tergantung pada hasil dari proses sebelumnya.

Dalam pembuatan precedence diagram, simbol-simbol berikut digunakan:

1. Simbol lingkaran yang berisi huruf, bertujuan untuk mempermudah identifikasi setiap proses operasi.
2. Anak panah, yang menunjukkan urutan atau ketergantungan antar proses operasi.
3. Angka di atas simbol lingkaran, yang mengindikasikan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan setiap proses operasi.
4. Hubungan antar operasi dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu hubungan seri dan paralel, seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 1.1 Hubungan Paralel



Gambar 2.2 Hubungan Seri (Berurutan)

Gambar ini menggambarkan hubungan paralel, di mana elemen A harus diselesaikan sebelum elemen C dan/atau elemen B, serta elemen B harus diselesaikan sebelum elemen D. Dalam hubungan ini, terdapat beberapa elemen yang tidak saling bergantung, seperti elemen B yang tidak terhubung dengan elemen E, atau elemen C yang tidak terkait dengan elemen D, dan seterusnya.

2.1.8 Penetapan Waktu Baku

Setelah data dikumpulkan dan diberi tingkat kepercayaan yang cukup, langkah selanjutnya adalah mengolah data untuk mendapatkan waktu baku, yang dilakukan dengan cara berikut:

1. Hitung waktu normal dengan rumus

$$Wn = \bar{x} \times (1 + \text{performance rating}) \dots\dots\dots \textbf{Rumus 2.6} \text{ Waktu normal}$$

Dimana P adalah faktor penyesuaian dan Wn adalah waktu standar

2. Hitung waktu baku dengan rumus

$$Wb = Wn \times (1 + \text{allowance}) \dots\dots\dots \textbf{Rumus 2.7} \text{ Waktu baku}$$

Dimana 1 adalah allowance atau kelonggaran yang di berikan kepada pekerja diluar dari waktu normal

2.1.9 Allowance

Personal Allowance adalah waktu longgar yang diberikan untuk kebutuhan pribadi, yang dapat dihitung melalui pengamatan langsung selama satu hari kerja penuh atau dengan metode sampling kerja. Pada pekerjaan ringan, di mana operator bekerja selama 8 jam sehari tanpa istirahat resmi, waktu longgar yang diberikan berkisar antara 2 hingga 5% (sekitar 10 hingga 24 menit). Kebutuhan pribadi ini mencakup aktivitas seperti minum untuk menghilangkan rasa haus, pergi ke kamar kecil, berbicara dengan rekan kerja untuk mengurangi ketegangan atau kebosanan, serta kebutuhan ringan lainnya (Terhadap & Kerja, 2022).

Ada tiga komponen kelonggaran:

1. Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi seperti kencing, minum, dan sebagainya
2. Kelonggaran untuk waktu untuk mengurangi rasa lelah,
3. Kelonggaran yang tidak terhindarkan

Nilai Faktor kelonggaran dibagi menjadi tiga kategori, yaitu

1. $P > 1$ mempunyai arti bahwa operator bekerja lebih cepat dari waktu normal
2. $P < 1$ mempunyai arti bahwa Operator bekerja lebih lambat dari waktu normal
3. $P = 1$ operator bekerja secara wajar.

Rumus:

$$\text{Presentase Allowance Waktu Istirahat} = \frac{\text{Waktu Istirahat}}{\text{Total Jam Kerja}} \times 100$$

.....**Rumus 2.8 Presentase Allowance**

2.1.10 Uji kecukupan dan Uji Keseragaman Data

Uji Kecukupan Data dilakukan untuk memastikan apakah jumlah data yang dikumpulkan cukup untuk digunakan sebagai sampel uji. Persamaan digunakan untuk menguji kecukupan data tersebut.

$$N = \left(\frac{\frac{K}{S} \sqrt{N \cdot (\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2}}{\sum Xi} \right)^2 \dots\dots\dots \text{Rumus 2. 9 Uji kecukupan data}$$

Di mana:

N' = Jumlah data yang seharusnya

K = Tingkat keyakinan

s = Tingkat ketelitian

Sebelum menetapkan waktu baku untuk proses pekerjaan, data harus diuji untuk keseragaman. Peta kontrol, alat yang digunakan untuk menguji keseragaman data yang telah diambil dari pengamatan lapangan, dapat digunakan dalam uji ini Batas kontrol atas (BKA) dan batas kontrol bawah (BKB) dapat dihitung dengan menggunakan peta kontrol sumbu X (Sriwana et al., 2021).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N-1}} \dots\dots\dots \text{Rumus 2.10 Uji keseragaman data}$$

$$\text{BKA} = \bar{x} + (k \cdot \delta) \dots\dots\dots \text{Rumus 2.11 Batas Atas}$$

$$\text{BKB} = \bar{x} - (k \cdot \delta) \dots\dots\dots \text{Rumus 2.12 Batas Bawah}$$

Dimana:

$\bar{x}$ = rata rata yang diperoleh setelah data ekstrim di buang

δ = standart deviasi setelah data ekstrim di buang

N = Jumlah data aktual

Semua data diplotkan ke dalam peta kontrol untuk mengetahui hasil pengamatan.

Data seragam jika semua data berada di antara batas atas dan bawah peta kontrol.

Batas kendali dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Batas Kendali

2.1.11 Line Efficiency (LE)

Line Efficiency (LE) mengukur sejauh mana efisiensi suatu lini produksi dengan membandingkan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan pekerjaan dengan waktu yang tersedia untuk proses produksi. Nilai LE yang lebih tinggi menunjukkan kinerja lini produksi yang lebih optimal.

Rumus *Efficiency*:

$$Efficiency = \frac{Waktu\ baku\ ke\ i}{Waktu\ baku\ terbesar} \times 100\% \dots\dots\dots$$

.....**Rumus 2.13** *Efficiency*

Rumus *Line Efficiency*:

$$LE = \frac{ST}{(k)(Wmaks)} \times 100\% \dots\dots\dots$$

(LE)

Keterangan:

ST: Total waktu standar yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua tugas atau pekerjaan dalam lini produksi.

k: Jumlah workstation atau stasiun kerja dalam lini produksi.

Wmaks: Waktu siklus maksimum yang ditentukan untuk satu workstation dalam lini produksi.

2.1.12 *Balance Delay (BD)*

Balance Delay (BD) menggambarkan persentase waktu tidak produktif dalam lini produksi akibat ketidakseimbangan beban kerja antar workstation, di mana beberapa stasiun kerja mengalami waktu menganggur karena tugas tidak terdistribusi secara optimal.

Rumus:

$$BD = 100\% - LE \dots\dots\dots \textbf{Rumus 2.15 Line Efficiency}$$

Keterangan:

LE (*Line Efficiency*): *Persentase* efisiensi lini produksi yang menunjukkan seberapa baik waktu kerja dimanfaatkan.

2.1.13 *Smoothing Index (SI)*

Smoothing Index (SI) digunakan untuk mengukur tingkat pemerataan beban kerja di seluruh workstation dalam lini produksi, membantu menilai sejauh mana distribusi beban kerja merata untuk mengurangi ketidakseimbangan dan tekanan di stasiun kerja tertentu.

$$SI = \sqrt{\sum (ST_{maks} - ST_i)^2} \dots\dots\dots \textbf{Rumus 2.16 Smoothing Index}$$

Keterangan:

SI: *Smoothing Index*, yang menunjukkan tingkat keseimbangan beban kerja dalam lini produksi.

ST_{max}: Waktu siklus maksimum atau waktu stasiun kerja dengan beban paling tinggi.

ST_i: Waktu standar di *workstation* ke-i.

Σ: Penjumlahan dari semua workstation dalam lini produksi.

Akar kuadrat: Mengindikasikan bahwa nilai *Smoothing Index* dihitung berdasarkan deviasi beban kerja di setiap stasiun kerja terhadap waktu maksimum.

2.2 Penelitian terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Stephen C. Nwanya dan Celestine N. Achebe (2020), membahas masalah waktu tunggu yang lama dalam proses produksi plat nomor kendaraan di Nigeria. Masalah ini disebabkan oleh adanya aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan ketidakseimbangan dalam lini produksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan mengembangkan model waktu siklus yang efektif untuk meningkatkan efisiensi, serta mengurangi waktu tunggu dan masalah *bottleneck* dalam lini produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknik pemetaan aliran nilai (*Value Stream Mapping*) dan model waktu siklus yang efektif berhasil meningkatkan laju proses produksi sebesar 41% hingga 71% di empat pabrik yang diteliti. Dengan menghilangkan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah, efisiensi lini produksi meningkat, dan kapasitas sistem pabrik juga meningkat secara signifikan.

Penelitian yang dilakukan oleh Yusron Hapid dan Supriyadi (2021), mengidentifikasi masalah yang dihadapi oleh CV. Barsya Eka Plastindo dalam proses produksi daur ulang plastik. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa beban kerja tidak merata di antara operator, yang menyebabkan tingkat efisiensi dan produktivitas yang kurang optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan keseimbangan lintasan produksi berdasarkan beban kerja masing-masing operator dengan menggunakan metode *Ranked Positional Weight (RPW)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah operator yang ideal untuk produksi daur ulang plastik adalah 4, berkurang dari 6 operator sebelumnya. Pemerataan beban kerja berhasil meningkatkan nilai efisiensi dari 53% menjadi 80,1%. Selain itu, *Balance Delay (BD)* menurun dari 47% menjadi 19,9%, dan *Smoothing Index (SI)* berkurang dari 78,58 detik menjadi 22,58 detik.

Penelitian yang dilakukan oleh Dika Restu Elyuda, dkk (2023), mengidentifikasi masalah ketidakseimbangan distribusi elemen kerja pada lini

produksi *Friction Bolt Stabilizer* di PT XYZ, yang mengakibatkan rendahnya efisiensi produksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan meningkatkan efisiensi jalur produksi dengan membandingkan analisis lini produksi aktual dengan hasil analisis line balancing menggunakan dua metode, yaitu *Ranked Positional Weight* dan *Kilbridge Western Heuristic*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Kilbridge Western Heuristic* menghasilkan desain terbaik dengan efisiensi lini mencapai 91%, balance delay sebesar 9%, total 4 *workstation*, dan nilai *smoothness index* sebesar 401,55 detik. Metode ini terbukti lebih efisien dibandingkan dengan metode *Ranked Positional Weight*, yang hanya memberikan efisiensi sebesar 82%.

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Khatami, dkk (2023), mengidentifikasi masalah ketidakseimbangan stasiun kerja pada lini produksi alat pencacah plastik, yang menyebabkan waktu produksi menjadi terlalu lama dan beban kerja tidak merata. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis keseimbangan lini produksi guna mengidentifikasi kendala yang menyebabkan ketidakseimbangan stasiun kerja serta untuk meningkatkan efisiensi waktu siklus kerja dengan menggunakan metode *Helgeson-Birnie*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penerapan metode tersebut, dihasilkan 6 stasiun kerja dengan efisiensi lini mencapai 90,02%, balance delay sebesar 9,97%, dan Smoothing Index sebesar 628,204. Penelitian ini membuktikan bahwa keseimbangan lini yang baik dapat secara signifikan meningkatkan produktivitas di industri.

Penelitian yang dilakukan oleh Ayu Anggraeni Sibarani, dkk (2023), mengidentifikasi masalah bottleneck yang dihadapi oleh PT ABC dalam produksi kain grey. Masalah ini muncul akibat perbedaan waktu pengerjaan yang tinggi di setiap *workstation*, sehingga menyebabkan keterlambatan dalam memenuhi permintaan pelanggan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan keseimbangan antara stasiun kerja dalam proses produksi kain grey serta memberikan usulan line balancing yang dapat meningkatkan kecepatan produksi di setiap *workstation*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode *Largest*

Candidate Rule memberikan hasil terbaik, dengan mengurangi jumlah *workstation* dari 6 menjadi 4. Efisiensi lintasan mencapai 71,77%, *balance delay* sebesar 28,23%, waktu *idle* sebesar 91,05 menit, dan *smoothness index* sebesar 54,3. Penelitian ini menegaskan pentingnya penerapan line balancing untuk meningkatkan efisiensi produksi.

Penelitian yang dilakukan oleh Asri Amalia Muti, dkk (2023), mengkaji masalah ketidakseimbangan pada jalur produksi spare part motor di CV. XYZ, yang tercermin dari rata-rata efisiensi produksi di bawah 100% pada tahun 2021. Masalah ini disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk waktu tunggu, kerusakan mesin, dan produksi berlebih. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efisiensi tertinggi dari jalur produksi menggunakan metode *Ranked Position Weight (RPW)* dan *Largest Candidate Rule (LCR)*, serta mengidentifikasi delay keseimbangan terendah dari jalur produksi yang dihasilkan oleh kedua metode. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Largest Candidate Rule (LCR)* menghasilkan efisiensi *Bostep* 107%, *Underbone* 85%, dan *Flange* 94%, dengan *balance delay* masing-masing 0,6 menit, 2,4 menit, dan 4,3 menit, serta jumlah *workstation* sebanyak 2 untuk *Bostep*, 2 untuk *Underbone*, dan 3 untuk *Flange*. Sementara itu, metode *Ranked Position Weights (RPW)* menghasilkan efisiensi *Bostep* 42,8%, *Underbone* 42,5%, dan *Flange* 26%, dengan *balance delay* masing-masing 5,1 menit, 5,8 menit, dan 6,6 menit.

Penelitian yang dilakukan oleh Iphov Kumala Sriwana, dkk (2021), mengidentifikasi masalah yang dihadapi PT. XYZ dalam mencapai target produksi sepatu sebanyak 80 pasang per jam. Produksi harian yang tercapai masih kurang dari target yang ditentukan, dan terdapat penumpukan barang dalam proses (WIP) yang mengakibatkan penurunan efisiensi lini produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keseimbangan lini produksi dengan menggunakan metode *Moodie-Young* dan *Ranked Positional Weight* untuk meningkatkan efisiensi lini produksi di PT. XYZ. Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi lini meningkat

dari 57,67% menjadi 85,12% menggunakan metode *Moodie-Young*, sementara *balanced delay* berkurang dari 39,97% menjadi 14,88%, dan *smoothness index* menurun dari 62,62 menjadi 23,08. Selain itu, jumlah operator yang dibutuhkan berkurang dari 16 menjadi 14, dan jumlah stasiun kerja berkurang dari 12 menjadi 8.

Penelitian yang dilakukan oleh Dede Rosita, dkk (2020), mengidentifikasi masalah *bottleneck* di area proses *prestitching* dan *stitching* di PT. KMK Global Sports, yang menyebabkan penumpukan barang dan ketidakmampuan mencapai target produksi sepatu Nike Tanjun. Target produksi yang ditetapkan adalah 220 pasang per jam, namun aktualnya hanya mencapai 170 pasang per jam. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan *re-layout* fasilitas produksi dan menerapkan metode *line balancing* guna meningkatkan produktivitas di lini produksi Y10. Hasil penelitian menunjukkan bahwa usulan perbaikan melalui *re-layout* dan *line balancing* berhasil menghasilkan pengurangan stasiun kerja dari 141 menjadi 131, serta meningkatkan produktivitas dari 170 pasang per jam menjadi 218 pasang per jam. Selain itu, waktu kerja per proses juga berkurang dari 41,02 detik menjadi 37,64 detik.

Penelitian yang dilakukan oleh Yılmaz, dkk (2020), membahas masalah keseimbangan lini perakitan dalam industri pendingin, yang sering mengalami pemborosan waktu dan alokasi tugas yang tidak efisien di antara stasiun kerja. Tujuan utama dari penelitian ini adalah menerapkan prinsip desain *aksionomik* untuk mencapai keseimbangan lini perakitan, mengurangi waktu menganggur operator, dan meningkatkan volume produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan efektif dalam mengurangi waktu menganggur operator sebesar 12%, mengurangi ketidakseimbangan beban kerja antar stasiun kerja sebesar 38%, mengurangi jumlah total pekerja sebesar 12%, serta meningkatkan volume produksi sebesar 23%.

Penelitian yang dilakukan oleh Mohammad Zakariaaa, dkk (2022), membahas masalah penyeimbangan lini perakitan berbentuk U dengan beberapa operator, atau yang dikenal sebagai *multi-manned assembly line balancing problem (MALBP)*,

dengan mempertimbangkan waktu pemrosesan *stokastik*. Permasalahan ini menggabungkan dua jenis masalah penyeimbangan lini perakitan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model pemrograman campuran-integer baru dan menyelesaikan masalah di bawah ketidakpastian menggunakan algoritma evolusi diferensial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma yang diusulkan berhasil mengatasi 71 masalah yang diadaptasi dari benchmark yang dikenal, menunjukkan efektivitasnya dalam meminimalkan jumlah stasiun dan operator, serta memenuhi batasan waktu siklus yang ditetapkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Damien Lamy, dkk (2020), membahas masalah efisiensi energi dalam sistem produksi, khususnya pada *Paced Production Lines*. Permasalahan yang diangkat adalah tingginya konsumsi daya puncak yang berulang kali dalam siklus produksi, yang berdampak negatif terhadap biaya operasional dan lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperbaiki efisiensi energi pada tahap desain sistem produksi dengan mempertimbangkan penyeimbangan lini dan penjadwalan operasi, serta mengurangi konsumsi daya puncak melalui pengaturan urutan dan penugasan operasi ke stasiun kerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan pendekatan metaheuristik, peningkatan efisiensi energi pada tahap desain sistem produksi adalah mungkin dilakukan. Penelitian ini juga memperkenalkan fitur spesifik yang memungkinkan pengaturan urutan operasi yang lebih baik, yang terbukti dapat mengurangi konsumsi daya puncak secara signifikan.

Penelitian yang dilakukan oleh Melkamu Mengistnew Teshome, dkk (2024), membahas masalah ketidakseimbangan pada jalur produksi kaos polo di industri pakaian Abay di Gondar, yang menyebabkan *bottleneck*, waktu tunggu yang lama, dan kesulitan dalam memenuhi target produksi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas jalur produksi kaos polo dengan menerapkan teknik penyeimbangan jalur produksi menggunakan pemodelan simulasi. Hasil implementasi model penyeimbangan jalur menunjukkan

peningkatan output dari 288 menjadi 381 unit, efisiensi jalur dari 39,06% menjadi 55,64%, dan produktivitas tenaga kerja dari 54,25% menjadi 66%. Selain itu, biaya tenaga kerja berkurang sebesar 15,63%, sementara pendapatan meningkat sebesar 30%.

Penelitian yang dilakukan oleh Nessren Zamzam dan Amin K. El-Kharbotly (2024), membahas masalah penyeimbangan jalur perakitan multi-manned dua sisi yang dihadapkan pada batasan waktu dan ruang, yang mengakibatkan pergerakan pekerja yang tidak efisien dan waktu tunggu yang lama. Penelitian ini bertujuan untuk menyeimbangkan jalur perakitan *multi-manned* dua sisi dengan menggunakan algoritma genetik yang dipadukan dengan *heuristic* penugasan untuk meminimalkan jumlah pekerja dan stasiun yang digunakan, sambil mempertimbangkan batasan ruang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang diusulkan berhasil meningkatkan efisiensi dengan menurunkan jumlah pekerja dan stasiun secara bersamaan. Penggunaan rasio *crossover* dan mutasi dinamis terbukti memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan nilai tetap, serta mampu mengurangi panjang jalur hingga 33% tanpa menambah jumlah pekerja.

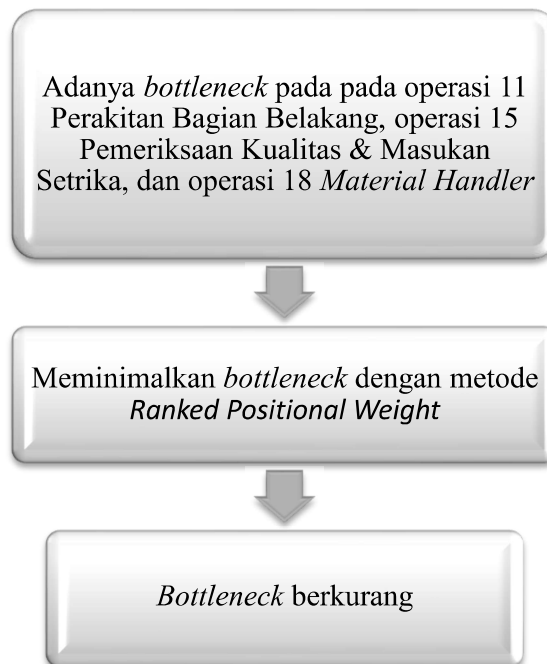
Penelitian yang dilakukan oleh R. Nithish Kumar,dkk (2021), berfokus pada masalah efisiensi jalur produksi di unit hemming, yang awalnya hanya mencapai efisiensi 44% dengan melibatkan 12 stasiun kerja manual. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi jalur produksi unit hemming dengan menerapkan tiga teknik penyeimbangan jalur, yaitu *Kilbridge and Wester Column*, *Ranked Positional Weight*, dan *Largest Candidate Rule*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah penerapan teknik penyeimbangan, efisiensi jalur meningkat menjadi 69%, dan jumlah stasiun kerja berkurang dari 12 menjadi 8. Metode *Ranked Positional Weight* terbukti sebagai yang paling efektif dalam meningkatkan produktivitas.

Penelitian yang dilakukan oleh Hartono Subagio (2024) membahas efisiensi dan efektivitas produksi sepatu di PT Wangta Agung. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh penyeimbangan lini terhadap peningkatan kinerja produksi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi optimal stasiun kerja terdiri dari 15 stasiun dengan waktu siklus 16 detik, yang mampu meningkatkan efisiensi produksi hingga mencapai 87,5.

2.3 Kerangka Penelitian

Penelitian ini menggunakan kerangka pemikiran untuk memahami dasar (kerangka berpikir), menunjukkan bagaimana setiap variabel penelitian berhubungan satu sama lain dan memahami pola konsep penelitian yang lebih mudah dipahami. Kerangka pemikiran dapat disusun seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Kerangka Penelitian